УДК 626.882
DOI 10.23947/2541-9129-2018-3-4-79-86

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОХОДА РЫБ НА НЕРЕСТ НА ПРИМЕРЕ КОЧЕТОВСКОГО ГИДРОУЗЛА НА РЕКЕ ДОН

А. М. Анохин, И. З. Копадзе, А. А. Донцов

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт (филиал Донского ГАУ), Новочеркасск, Российская Федерация

anocxin2014@yandex.ru

В работе проанализировано состояние рыбопропускных сооружений (РПС) на Константиновском, Николаевском и Кочетовском гидроузлах. Отмечена необходимость строительства нового рыбопропускного сооружения на Кочетовском гидроузле. Авторами предложена новая конструкция РПС в виде лотка, соединяющего верхний и нижний бьефы. Лоток устанавливается в один из пролётов водосливной плотины. Представлены результаты исследования влияния глубины в начале лотка при различных уклонах на скорости по длине лотка. Результаты исследований представлены в виде зависимостей, демонстрирующих функциональность предложенной конструкции и возможность её использования для пропуска рыбы через гидроузлы в период нереста.

Ключевые слова: гидроузел, верхний бьеф, нижний бьеф, расход потока, глубина потока, уклон дна лотка, допустимые скорости, миграция рыб, нерест.

Введение. Кочетовский гидроузел расположен на реке Дон на 123 км ниже Цимлянского гидроузла, в 7,5 км от устья реки Северский Донец. В состав гидроузла входят следующие гидротехнические сооружения: судоходный шлюз, плотина с поворотными фермами, водосливная плотина, стационарный рыбопропускной шлюз (РПШ). Плотина с поворотными фермами перекрывает русло реки Дон на ширину 129 м и поддерживает уровень в верхнем

UDC 626.882
DOI 10.23947/2541-9129-2018-3-4-79-86

PROVIDING SAFETY OF FISH PASSING TO SPAWNING GROUND ON THE EXAMPLE OF KOCHETOVSKY WATERWORKS FACILITY ON THE RIVER DON

A. M. Anokhin, I. Z., Kopadze A. A. Dontsov

Novocherkassk Reclamation Engineering Institute (branch of the Donskoy SAU), Novocherkassk, Russian Federation

anocxin2014@yandex.ru

The paper provides the analysis of the state of fish-passing facilities (FPF) on Konstantinovsky, Nikolaevsky and Kochetovsky waterworks facility. The need of construction of a new fish-passing facility on Kochetovsky waterworks facility is especially noted. The authors have offered a new design of a fish-passing facility in the form of the tray connecting the upstream and the downstream. The tray is established in one of the bays of a weir dam. The research results on the influence of the depth at the beginning of a tray at various gradients at speeds on tray length are presented.
The research results are presented in the form of dependences showing functionality of the offered design and the possibility of its use for the pass of fish through waterworks facility during spawning period.

Keywords: waterworks facility, upstream, downstream, flow discharge, flow depth, tray bottom gradient, admissible speeds, fish migration, spawning.

Introduction. Kochetovsky waterworks facility is located on the river Don 123 km below Tsimlyansky waterworks facility, 7.5 km from the mouth of the Seversky Donets river. The structure of the waterworks facility includes the following hydraulic structures: a shipping lock, a dam with rotary frames, a weir dam, a stationary fish-passing lock (FPL). Dam with rotary frames closes the channel of the Don at a width of 129 m and maintains the upstream level (UL)

бьефе (УВВБ) на отметке 5,2 м. Бетонная водосливная плотина имеет три пролета по 20 метров с отметкой порога 0,7 м. Отверстия плотины перекрываются металлическими затворами.

Рыбопропускной шлюз представляет собой прямоугольный бетонный лоток длиной 155 метров с горизонтальным дном и относится к рыбопропускным сооружениям цикличного действия. Строительство Кочетовского гидроузла связано с запуском в 1914 году Северско-Донецкой шлюзованной системы, предназначенной для вывоза каменного угля Донбасса в регионы Азово-Черноморского бассейна. На современном этапе Кочетовский гидроузел входит в каскад низконапорных гидроузлов, обеспечивающих глубины для движения речного транспорта по реке Дон от Азовского моря до Цимлянского гидроузла (рис. 1).

at around 5.2 m. The concrete spillway dam has three bays, 20 meters each; with a threshold mark of 0.7 m. Dam openings are covered with metal bars.

Fish-passing lock is a rectangular concrete tray with a length of 155 m with a horizontal bottom and refers to cycle fish-passing facilities. The construction of Kochetovsky waterworks facility is connected with the launch in 1914 of the North-Donetsk lock system intended for the export of Donbass coal to the regions of the Azov-Black Sea basin. At the present stage Kochetovsky waterworks facility enters the cascade of low-pressure waterworks facilities, providing depth for the river transport movement on the Don from the Azov Sea to Tsimlyansky waterworks facility (Fig. 1).

Рис. 1. Карта-схема Донского каскада гидроузлов

Fig. 1. Map of Don cascade of waterworks facilities

Река Дон является крупнейшим рыбопродуктивным водоёмом России, впадающим в Азовское море. В течение весенне-осеннего нерестового периода проходные и полупроходные виды рыб движутся к нерестилищам, расположенным около Цимлянского гидроузла. На их пути к нерестилищам в реке расположены миграционные барьеры — Кочетовский, Константиновский, Николаевский гидроузлы. Для пропуска мигрирующих особей на Николаевском, Константиновском гидроузлах запроектированы и построены рыбоходные каналы, обеспечивающие беспрерывный пропуск мигрантов из нижнего бьефа в верхний (рис. 1). Расход воды, проходящей через каналы, составляет 50–70 кубических метров в секунду, что обеспечивает проход в верхний бьеф всех мигрантов.

На Кочетовском гидроузле для пропуска рыб, движущихся на нерест, запроектирован рыбоходный шлюз цикличного действия с горизонтальной камерой. Многочисленные исследования, выполненные различными рыбохозяйственными организациями, а также учёными Новочеркасского инженерно-мелиоративного института, показали низкую эффективность работы РПШ в период нерестового хода рыб. Таким образом, если рассматривать каскад гидроузлов с точки зрения рыбопропуска, то Кочетовский гидроузел является неэффективным элементом, тормозящим и задерживающим продвижение рыб на нерест. Авторы предлагают повысить эффективность пропуска путём строительства нового рыбопропускного сооружения. Отметим, что существующие рыбопропускные каналы, построенные в 70-е годы прошлого века, нуждаются в капитальном ремонте и требуют реконструкции.

Проектирование рыбоходного канала на Кочетовском гидроузле затруднено отсутствием территории для расположения 6–7 километров канала глубиной 1,5–2,0 метра. При средней ширине канала 20–30 метров необходимая площадь составит 18–20 га лесных угодий.

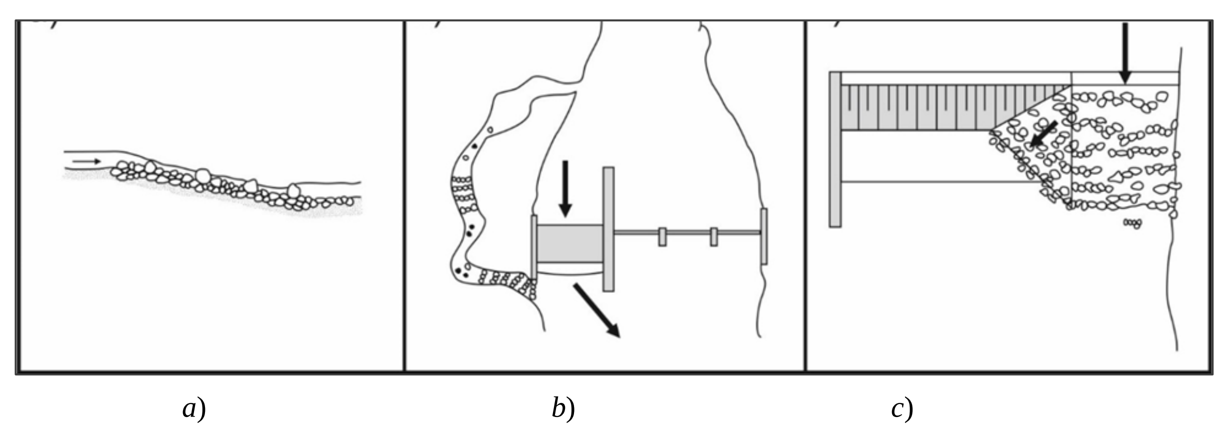
The Don is the largest fish-producing reservoir in Russia, flowing into the Azov Sea. During spring and autumn spawning period, migratory and semi-migratory fish species move to the spawning grounds located near Tsimlyansky waterworks facility. On their way to the spawning grounds in the river, there are migration barriers - Kochetovsky, Konstantinovsky, Nikolaevsky waterworks facilities. Fish channels providing uninterrupted passage of migrants from the downstream to the upstream (Fig. 1) are designed and constructed to let migratory fish pass at Nikolaevsky and Konstantinovsky waterworks facilities. The flow of water passing through the channels is 50-70 cubic meters per second, which ensures the passage of all migrants upstream.

Kochetovsky waterworks facility for the passage of fish moving to spawning ground has the designed cyclic fish-passing lock with horizontal camera. Numerous studies performed in different fishing organizations and scientists of Novocherkassk Reclamation Engineering Institute, showed low efficiency of FPL in the spawning period. Thus, if we consider the cascade of waterworks from the point of view of fish passing, Kochetovsky waterworks facility is an inefficient element that inhibits and delays the passage of fish to spawning grounds. The authors propose to improve the passage efficiency by the construction of a new fish-passing facility. It should be noted that the existing fish channels, built in the 70s of the last century, need major repairs and require reconstruction.

The design process of the fish channel on Kochetovsky waterworks facility is hampered by the lack of territory for the location of 6-7 kilometers of the channel with a depth of 1.5–2.0 meters. With an average channel width of 20-30 meters, the required area will be 18-20 hectares of forestland.

В настоящее время существуют разработки, воплощенные на многих реках Европы и Азии. Эти конструкции объединены в большую классификационную группу рыбопропускных сооружений, которые имитируют естественные речные условия. К этим сооружениям относятся донные скаты, обходные каналы, рыбные скаты (рис. 2) [1].

Currently, there are developments embodied in many rivers of Europe and Asia. These structures are included into a large classification group of fish-passing facilities that simulate natural river conditions. These structures include bottom slopes, bypass channels, fish slopes (Fig. 2) [1].



a) *b*) *c*)

Рис. 2. Рыбопропускные сооружения, имитирующие естественные речные условия:
a) донный скат, *b*) обходной канал, *c*) рыбный скат

Fig. 2. Fish-passing facilities that simulate natural river conditions:
(a) bottom slope, (b) bypass channel, (c) fish slope

Рыбные скаты — это рыбопропускные сооружения (РПС), близкие к природным конструкциям и характеризующиеся следующими особенностями:

- удобство для миграции рыбы в верхний и нижний бьеф, возможность прохода для мелкой рыбы, мальков, донных позвоночных;
- естественный, визуально привлекательный вид;
- не засоряются мусором паводков, не влияют на эффективность работы сооружения в целом.
- расположены непосредственно в гидроузле, не изменяют его функциональных возможностей [2].

Используя идею расположения РПС в составе гидроузла, авторами была предпринята попытка рассчитать лоток прямоугольного сечения, вписанный в один из пролётов водосливной плотины (рис. 3).

Fish slope is a fish-passing facility (FPF), similar to the natural structures and characterized by the following features:

- convenience for fish migration upstream and downstream, the possibility of passage for small fish, fry, bottom vertebrates;
- natural, visually appealing look;
- not clogged with floods debris, does not affect the efficiency of the facility as a whole.
- located directly in waterworks facility, does not change its functionality [2].

Using the idea of the location of FPF in the waterways facility, the authors have attempted to calculate the tray of rectangular cross section, inscribed in one of the bays of a spillway dam (Fig. 3).

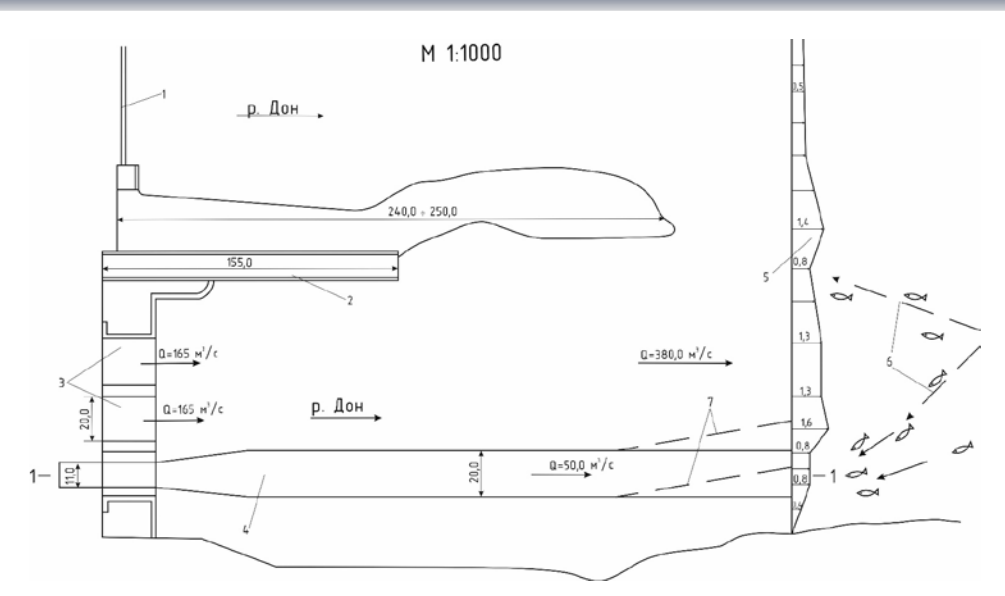


Рис. 3. План гидроузла: 1 — плотина; 2 — рыбопропускной шлюз; 3 — водосливная плотина; 4 — лоток рыбного ската; 5 — эпюры скоростей; 6 — трассы движения рыб; 7 — вариант концевой части лотка

Fig. 3. Waterworks facility plan: 1 — dam; 2 — fish –passing lock; 3 — weir dam; 4 — fish slope tray; 5 — velocity profile curves; 6 — route of fish movement; 7 — a design of the end portion of the tray

Рыбопропускное сооружение представляет собой лоток, установленный в один из пролётов водосливной плотины с уклоном в сторону нижнего бьефа. Лоток имеет прямоугольное сечение шириной b, дно лотка заглублено под уровень верхнего бьефа (УВБ) на глубину H (рис. 4) [3–5].

The fish-passing facility is a tray established in one of the bays of a weir dam with a downstream slope. The tray has a rectangular cross-section of width b, the bottom of the tray is buried to the upstream level (UL) to a depth H (Fig. 4) [3-5].

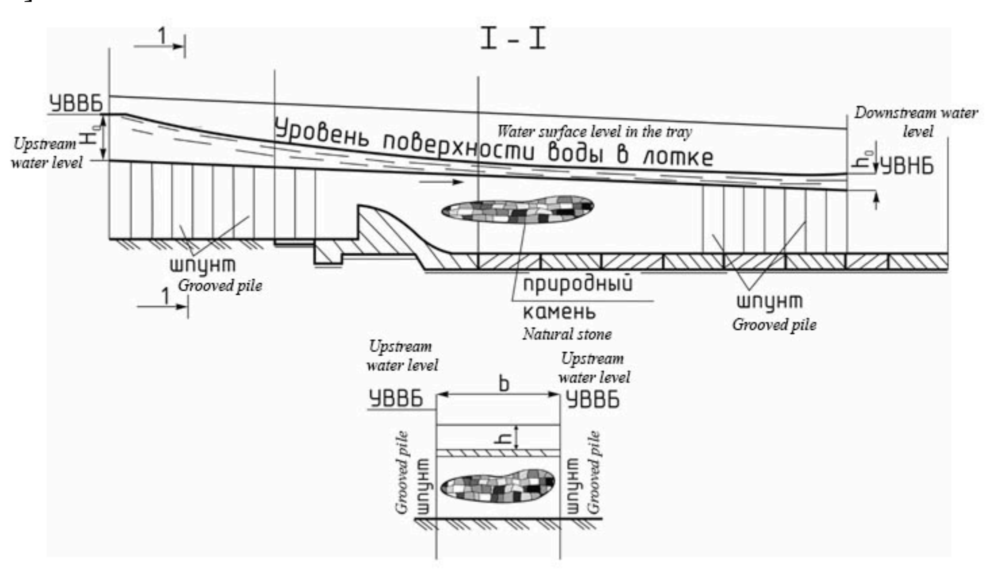


Рис. 4. Продольный профиль лотка

Fig. 4. Longitudinal profile of the tray

Ширина лотка b и глубина заглубления дна H будут определять расход воды, протекающей через лоток:

$$Q = \varepsilon \cdot m \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot H^{\frac{3}{2}}.$$

Расход лотка и его уклон будут определять скорости в лотке, влияющие на продвижение

The width of the tray b and the depth of the bottom H will determine the flow of water flowing through the tray:

$$Q = \varepsilon \cdot m \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot H^{\frac{3}{2}}.$$

The flow rate of the tray and its slope will de-

рыб по сооружению [6]. Преодолимые скорости в лотке зависят от видового состава пропускаемых рыб, их размера и температуры воды. В лотке должны быть созданы такие скоростные условия, чтобы различные виды рыб преодолевали сооружение и достигали верхнего бьефа.

Таким образом, поставлена многофакторная задача с выходной функцией, ограниченной диапазоном скоростей, приемлемых для рыб, идущих на нерест [7, 8]. На первоначальном этапе исследований был проведён анализ влияния глубины в начале лотка при различных уклонах на скорости по длине лотка. При различных значениях ширины лотка b и глубины H в верхнем бьефе с помощью уравнения неравномерного движения Б. А. Бахметьева определялись глубины в лотке и строились кривые свободной поверхности:

$$\frac{il}{h_0} = \eta_2 - \eta_1 - (1 - \gamma_{\text{ср}}) \cdot [(\varphi_{\eta_2} - \varphi_{\eta_1})],$$

где i — уклон лотка быстротока; h_0 — нормальная глубина в лотке быстротока; η_1, η_2 — относительные глубины в соответствующих створах:

$$\eta_1 = \frac{h_1}{h_0}; \quad \eta_2 = \frac{h_2}{h_0};$$

l — расстояние между створами; φ_η — функции, определяемые в зависимости от гидравлического показателя русла.

Данные расчётов представлены в виде функций $h_0/b = f(i)$ (рис. 5).

termine the speed in the tray, affecting fish passage through the facility [6]. Passable speeds in the tray depend on the fish species composition, their size and water temperature. The tray needs to create such speed conditions, so that various fish species pass through the facility and reach the upper pool.

Thus, a multi-factor problem with an output function limited by the range of speeds acceptable for fish going to spawning ground is set [7, 8]. At the initial stage of research, the effect of depth at the beginning of the tray at different slopes on the speed along the length of the tray was analyzed. At different values of the tray width b and the upper depth H, the depth of the tray and the free surface curves were determined using the B.A. Bakhmetev equation of non-uniform motion (b):

$$\frac{il}{h_0} = \eta_2 - \eta_1 - (1 - \gamma_{\text{ср}}) \cdot [(\varphi_{\eta_2} - \varphi_{\eta_1})],$$

where i — slope of high-velocity flow tray; h_0 — normal depth in high-velocity flow tray;

η_1, η_2 — relative depths in the relevant sections:

$$\eta_1 = \frac{h_1}{h_0}; \quad \eta_2 = \frac{h_2}{h_0};$$

l — distance between the sections; φ_η — functions, determined depending on hydraulic channel indicator.

These calculations are presented as functions $h_0/b = f(i)$ (Fig. 5).

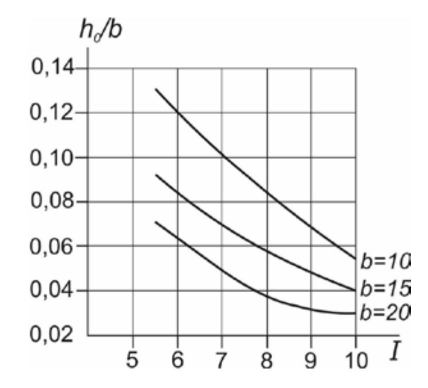


Рис. 5. Функция зависимости $h/b = f(i)$

Fig. 5. Function of dependence $h/b = f(i)$

Полученные данные для корректировки скоростей позволили сделать вывод о том, что сечение лотка должно расширяться в сторону нижнего бьефа, что позволит уменьшить глубину в лотке и скорость потока.

Выводы:

1. Новая конструкция рыбопропускного сооружения в виде лотка, вписываемого в водосливную плотину гидроузла, позволит обеспечить проход рыб, движущихся по реке в течение всего нерестового периода.

2. Гидравлические условия в лотке РПС можно корректировать в зависимости от видов пропускаемой рыбы с помощью искусственной шероховатости.

3. Представленная конструкция РПС значительно сокращает используемые площади рядом с гидроузлом. Рыбоходный канал имеет преимущество бесперебойной работы перед рыбопропускным шлюзом и наименьшую стоимость по сравнению с обоими сооружениями.

Библиографический список.

1. Анохин, А. М. Критерии оценки рыбопропускных сооружений / А. М. Анохин, А. М. Калашников, М. В. Лукьяненко // Инновационные процессы в научной среде: сб. ст. междунар. науч.-практ. конф. — Пермь, 2017. — С. 63–67.

2. Fish passes – Design, dimensions and monitoring / DVWK/Rome: FAJ, 2012.

3. Гидротехнические сооружения. Основные положения : СП 58.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003 : [Электронный ресурс] / Электрон. фонд правовой и норматив.-техн. документации / Консорциум «Кодекс». — Режим доступа : http://docs.cntd.ru/document/1200094156 (дата обращения 07.07.18).

4. Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения : СП 101.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 2.06.07-87 [Электронный ресурс] / Электрон. фонд правовой и норматив.-техн. документации / Консорциум «Кодекс».

The data obtained to adjust the speeds allowed us to conclude that the cross section of the tray should expand towards the bottom, which will reduce the depth in the tray and the flow rate.

Conclusions:

1. The new design of the fish-passing facility in the form of a tray that fits into the weir dam of the waterworks facility will allow the passage of fish moving along the river during the entire spawning period.

2. Hydraulic conditions in the FPF tray can be adjusted depending on the species of fish passed by means of artificial roughness.

3. The presented design of the FPF significantly reduces the area used near the waterworks facility. Fish-passing channel has the advantage of smooth operation compared to the fish-passing lock, and cost least in comparison with both structures.

References

1. Anokhin, A.M., Kalashnikov, A.M., Lukyanenko, M.V. Kriterii otsenki rybopropusknykh sooruzheniy. [Assessment criteria of fish-passing facilities.] Innovatsionnye protsessy v nauchnoy srede: sb.st. mezhdunar. nauch.-prakt. konf. [Innovative processes in the scientific environment: proc. of international sci.-pract. conference.] Perm, 2017, part 3, pp. 63-67 (in Russian).

2. Fish passes – Design, dimensions and monitoring/DVWK/Rome: FAJ, 2012.

3. Gidrotekhnicheskie sooruzheniya. Osnovnye polozheniya: SP 58.13330.2012. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 33-01-2003. [Hydraulic Structures. Main provisions: SP 58.13330.2012. Updated version of SNiP 33-01-2003.] Elektron. fond pravovoy i normative.-tekhn. Dokumentatsii. Konsotsium "Kodeks". [Electron. fund of legal, regulatory, and technical documentation. Consortium "Codex".] Available at: http://docs.cntd.ru/document/1200094156 (in Russian).

4. Podpornye steny, sudokhodnye shluzy, rybopropusknye i rybozashitnye sooruzheniya: SP 101.13330.2012. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.06.07-87. [Back walls, shipping locks, fish pass and fish protection facilities: SP

— Режим доступа : http://docs.cntd.ru/document/1200095534 (дата обращения 07.07.18).

5. Калашников, А. М. Обзор рыбоходных сооружений, имитирующих естественные речные условия / А. М. Калашников, Т. В. Камфорина, М. В. Лукьяненко // Инновационно-технологическое развитие науки: сб. ст. междунар. науч.-практ. конф. — Волгоград, 2017. — С. 64–68.

6. Справочник по гидравлическим расчётам / П. Г. Киселев [и др.]. — Москва : Эколит, 2011. — 312 с.

7. Dette, H.H., Raudkivi, A.J., and Oumeraci, H. Permeable pile groin fields // Journal of Coastal Research. – 2004. – SI. 33. - p. 145-159.

8. Fleming, C.A. Guides on the uses of groynes in coastal engineering. - London : CIRIA, 1990. – 116 p.

101.13330.2012. Updated version of SNiP 2.06.07-87.] Elektron. fond pravovoy i normative.-tekhn. Dokumentatsii. Konsotsium "Kodeks". [Electron. fund of legal, regulatory, and technical documentation. Consortium "Codex".] Available at: http://docs.cntd.ru/document/1200095534 (in Russian).

5. Kalashnikov, A.M., Kamforina, T.V., Lukyanenko, M.V. Obzor rybokhodnykh sooruzheniy, imitiruyushchikh estestvennye rechnye usloviya. [Review of fish passing facilities that copy natural river conditions.] Innovatsionno-tekhnologicheskoe razvitie nauki: sb. st. mezhdunar. nauch.-prakt. konf. [Innovative-technological development of science: proc. of sci.-pract. conf.] Volgograd, 2017, pp. 64-68 (in Russian).

6. Kiselev, P.G. et al. Spravochnik po gidravlicheskim raschetam. [Handbook of hydraulic calculations.] Moscow, Ekolit, 2011, 312 p. (in Russian).

7. Dette, H.H., Raudkivi, A.J., Oumeraci, H. Permeable pile groin fields. Journal of Coastal Research, 2004, SI. 33, p. 145-159.

8. Fleming, C.A. Guides on the uses of groynes in coastal engineering. London, CIRIA, 1990, 116 p.

Поступила в редакцию 16.03.2018
Сдана в редакцию 17.03.2018
Запланирована в номер 24.06.2018

Received 16.03.2018
Submitted 17.03.2018
Scheduled in the issue 24.06.2018

Анохин Александр Михайлович,
профессор кафедры «Гидротехническое строительство» Новочеркасского инженерно-мелиоративного института, филиала Донского ГАУ (РФ, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская,111), кандидат технических наук,
anocxin2014@yandex.ru

Копадзе Илья Зизович,
магистр Новочеркасского инженерно-мелиоративного института, филиал Донского ГАУ (РФ, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская,111)

Донцов Александр Александрович,
магистр Новочеркасского инженерно-мелиоративного института, филиал Донского ГАУ (РФ, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская,111)

Anokhin Aleksandr Mikhaylovich,
professor of the Department "Hydrotechnical construction» (Russian Federation, Novocherkassk, Pushkinskaya steet, 111), doctor of sciences,
anocxin2014@yandex.ru

Kopadze Ilya Zizovich,
graduate student of the Department "Hydrotechnical construction» (Russian Federation, Novocherkassk, Pushkinskaya steet, 111)

Dontsov Aleksandr Aleksandrovich,
graduate student of the Department "Hydrotechnical construction» (Russian Federation, Novocherkassk, Pushkinskaya steet, 111)